

(11)Publication number : 09-107141
(43)Date of publication of application : 22.04.1997

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>
(72)Inventor : SAKAIDA NORIO
KOGA MASABUMI

<http://www19.ipdl.jpo.go.jp/PA1/result/detail/main/wAAAE.aWGfDA409107141P1...> 2003/11/19

①

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9-107141

(43) 公開日 平成9年(1997)4月22日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S	3/10		H 0 1 S	3/10
	3/07			3/07
				Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 6 頁)

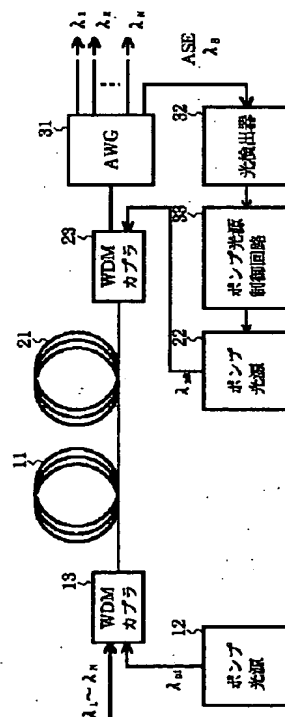
(21) 出願番号	特願平7-264415	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿三丁目19番2号
(22) 出願日	平成7年(1995)10月12日	(72) 発明者	坂井田 規夫 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本 電信電話株式会社内
		(72) 発明者	古賀 正文 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日本 電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 井出 直孝 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 波長多重された複数の信号光を利得一定で一括して増幅することができ、しかも得られる利得に比べて装置構成を単純化し、雑音指数も改善する。

【解決手段】 3準位系の増幅用光ファイバ11、21を縦続接続し、前段の増幅用光ファイバ11からの自然放出光が入射することで後段の増幅用光ファイバ21が利得飽和状態で動作するように前段の増幅用光ファイバ11を設定し、後段の増幅用光ファイバ21の飽和利得状態を制御することで、全体としての利得を一定に保つ。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長多重化された信号光を増幅する光増幅手段と、

この光増幅手段の利得を制御する利得制御手段とを備えた光増幅装置において、

前記光増幅手段は縦続接続された複数の光増幅器を含み、

この複数の光増幅器の少なくとも後段の光増幅器は3準位系の元素が添加された増幅用光ファイバにより構成され、

この増幅用光ファイバの前段の光増幅器は、その利得が、その光増幅器から発生する自然放出光がその後段の増幅用光ファイバに入射したときにその増幅用光ファイバの利得が飽和状態となるように設定され、

前記利得制御手段は、前記増幅用光ファイバから出力される自然放出光を監視する手段と、この監視する手段の出力により前記増幅用光ファイバの飽和出力光強度を制御する手段とを含むことを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 前記複数の光増幅器がそれぞれ3準位系の元素が添加された増幅用光ファイバにより構成された請求項1記載の光増幅装置。

【請求項3】 前記後段の光増幅器は、その動作領域が、その光増幅器を構成する増幅用光ファイバを励起するポンプ光強度を増加することで飽和出力光強度が増加する領域に設定された請求項1記載の光増幅装置。

【請求項4】 前記監視する手段は前記後段の光増幅器から出力される増幅された自然放出光を検出する手段を含む請求項1記載の光増幅装置。

【請求項5】 前記監視する手段は前記後段の光増幅器を構成する増幅用光ファイバの側面から放出される自然放出光を検出する手段を含む請求項1記載の光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は波長多重光の増幅に利用する。特に、複数の信号光を一括して増幅する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】 信号光を光増幅器により増幅して中継する光伝送中継の分野では、光増幅器の利得または出力レベルが時間的に一定となる制御を行うことが要求される。特に出力レベルを一定に保つことが望ましいが、波長多重化信号光を増幅する場合には、すべての波長に対して総出力光強度が一定となるように制御すると、あるチャンネルが遮断された場合には他チャンネルへの影響が生じて、出力一定制御が意味をなさなくなってしまう。このため波長多重化信号光に対しては、利得一定制御が行われる。

【0003】 光増幅器を制御する方法としては、従来から、入出力光強度の検出出力に基づく方法が用いられて

いる。また、自然放出光を検出して制御する方法も知られている。しかし、これらの光増幅器制御方法は、波長多重化信号光に対する制御には適していない。例えば入出力光強度による方法では、波長ごとに監視系が必要となり、装置が複雑化してしまう。また、自然放出光を利用する方法では、装置は簡略化できるが、利得情報と励起レベルから光増幅器の出力レベルを算定する必要があり、そのアルゴリズムが複雑となってしまう。

【0004】 このような課題を解決する技術として、平成5年度光通信シンポジウム第25-30頁には、プローブ光あるいは増幅された自然放出光をモニタ光として監視し、ポンプ光あるいは総入力パワーを制御することにより利得を制御する帰還制御型過渡的利得飽和補償方式が報告されている。その代表的な構成例を以下に説明する。

【0005】 図4はプローブ光を監視しポンプ光を制御する光増幅装置の構成例を示す。この光増幅装置は、増幅用光ファイバ41、ポンプ光源42および光波長多重カプラ43により構成される光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の利得を制御するためのプローブ光源51、光カプラ52、53、光フィルタ54、光検出器55およびポンプ光源制御回路56とを備える。

【0006】 増幅用光ファイバ41は例えばエルビウム添加光ファイバにより構成され、ポンプ光源42から光波長多重カプラ43を経由して入射する波長 λ_1 のポンプ光により励起されて光増幅を行う。

【0007】 プローブ光源51は波長 λ_2 のプローブ光を発生し、このプローブ光を光カプラ52により信号光と多重し、増幅用光ファイバ41に入力して増幅する。ここで、信号光は波長多重光であるが、説明を簡単にするため波長 λ_1 とする。増幅された信号光とプローブ光とを、光カプラ53により出力光とモニタ光とに分岐し、モニタ光については光フィルタ54により波長 λ_2 のプローブ光成分のみを抽出し、光検出器55により検出する。これにより、入力信号光のレベルやチャンネル数の変化により生じる利得変動が、増幅用光ファイバ41から出力されるプローブ光の変動として検出される。光検出器55の検出出力はポンプ光源制御回路56に供給され、検出された利得変動に基づいてポンプ光源42の出力するポンプ光パワーを制御する。これにより、少なくともプローブ光の波長 λ_2 において、利得が安定化される。

【0008】 図5は自然放出光を監視し総入力光パワーを制御する光増幅装置の構成例を示す。この光増幅装置は、増幅用光ファイバ61、ポンプ光源62および光波長多重カプラ63により構成される光ファイバ増幅器と、この光ファイバ増幅器の利得を制御するための光カプラ71、光フィルタ72、光検出器73、補償光源制御回路74、補償光源75および光カプラ76とを備える。

【0009】増幅用光ファイバ61は例えばエルビウム添加光ファイバにより構成され、ポンプ光源62から光波長多重カプラ63を経由して入射する波長 λ_1 のポンプ光に励起されて光増幅を行う。

【0010】増幅用光ファイバ61の利得が変動すると、自然放出光の発生にも変動が生じる。そこで、増幅用光ファイバ61から出てくる自然放出光をモニタ光として光カプラ71により分岐し、光フィルタ72により波長 λ_2 の自然放出光を抽出し、光検出器73により検出する。光検出器73の検出出力は補償光源制御回路74に供給され、検出された自然放出光の変動に基づいて補償光源75の出力する補償光パワーを制御する。補償光源75の出力する補償光(波長 λ_1)は、光カプラ76および光波長多重カプラ63を経由して増幅用光ファイバ61に入力される。

【0011】この光増幅装置では、入力信号光パワーが減少すると増幅用光ファイバ61の利得が増加する。そこで、補償光パワーを増加させて入力信号光パワーの減少分を補い、全体として入力光パワーを一定に保つことで利得を一定に保つ。また、入力信号光パワーが増加して利得が減少した場合には、入力信号光パワーの増加分を補償光パワーから減らすことで、利得を一定に制御する。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】しかし、これらの従来技術では、プローブ光や補償光を用いて利得を制御するため、レーザ、光カプラ、アイソレータ、プローブ光および補償光を制御するための制御回路など、ひとつの増幅用光ファイバに対して複数の部品や回路が必要となり、全体の装置構成が複雑となると同時に、部品が増えることから雑音指数(NF)の劣化や挿入損失が増加する欠点があった。また、ポンプ光制御の場合には、ポンプ光強度を変化させると励起波長も変動するため、励起効率の低下やNF劣化などの問題も生じていた。

【0013】本発明は、このような課題を解決し、波長多重された複数の信号光を一括して増幅することができ、しかも得られる利得に比べて装置構成が簡単でNFも優れた光増幅装置を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅装置は、波長多重化された信号光を増幅する光増幅手段と、この光増幅手段の利得を制御する利得制御手段とを備えた光増幅装置において、光増幅手段は縦続接続された複数の光増幅器を含み、この複数の光増幅器の少なくとも後段の光増幅器は3準位系の元素が添加された増幅用光ファイバにより構成され、この増幅用光ファイバの前段の光増幅器は、その利得が、その光増幅器から発生する自然放出光がその後段の増幅用光ファイバに入射したときにその増幅用光ファイバの利得が飽和状態となるように設定され、利得制御手段は、後段の光増幅器を構成する増

幅用光ファイバから出力される自然放出光を監視する手段と、この監視する手段の出力により後段の光増幅器を構成する増幅用光ファイバの飽和出力光強度を制御する手段とを含むことを特徴とする。

【0015】3準位系の元素とは、増幅用光ファイバに添加された状態で、ポンプ光の入射により高準位に励起され、緩和により少し低い中準位に遷移し、光入射に対して中準位から基底準位への遷移により光を発生するものをいう。このような元素としては、例えばエルビウムが良く知られている。このような元素が添加された増幅用光ファイバでは、入射光強度により利得の飽和が生じ、その飽和利得がポンプ光強度に比例する。本発明はこの性質を利用する。

【0016】本発明では、後段の光増幅器を構成する増幅用光ファイバを利得飽和状態で動作させ、その飽和利得を制御することで、全体としての利得を一定に保つ。飽和利得の制御は、後段の光増幅器を構成する増幅用光ファイバを励起するポンプ光の強度により行うことができる。後段の光増幅器は、その動作領域が、その光増幅器を構成する増幅用光ファイバを励起するポンプ光強度を増加することで飽和出力光強度が増加する領域に設定されることが望ましい。

【0017】複数の光増幅器がすべて3準位系の元素が添加された増幅用光ファイバにより構成されてもよい。

【0018】監視する手段は、後段の光増幅器から出力される増幅された自然放出光(以下「ASE光」という)を検出する手段を含んでもよく、その光増幅器を構成する増幅用光ファイバの側面から放出される自然放出光(以下「SE光」という)を検出する手段を含んでもよい。

【0019】後段の増幅用光ファイバから出力されるASE光は、その増幅前の状態で前段の利得を反映しており、それが後段の増幅用光ファイバで増幅されているので、ASE光の光強度が一定となるように後段の増幅用光ファイバを帰還制御することで、その利得を実質的に一定に保つことができる。

【0020】また、増幅用光ファイバから放出されるSE光には、入射光強度と、その増幅用光ファイバにおける利得とが反映される。したがって、このSE光強度が一定となるように後段の増幅用光ファイバを帰還制御することで、全体としての利得を実質的に一定に保つことができる。

【0021】本発明によれば、前段の光増幅器から放出された自然放出光(前段の光増幅器内で増幅されたASE光)により後段の増幅用光ファイバの動作を飽和領域に設定し、動作範囲を決定する。したがって、動作範囲が明確となる。この状態で、後段の増幅用光ファイバのポンプ光強度を変化させることで、飽和出力光強度を制御し、利得一定制御を実現できる。

【0022】また、光増幅器を2段以上の構成にするこ

とで、ポンプ光制御によるNFの劣化を防止し、高利得を得ることができる。増幅器を連続に配置した場合のNFは、初段の増幅器の利得がある程度高ければその初段の増幅器のNFで決定されるので、後段の光増幅器のポンプ光源を制御することで起きるNFの劣化は抑制することができる。

【0023】さらに、ASE光あるいはSE光を検出して制御することで、入出力光強度を検出することが不要となり、それらの検出部やプローブ光あるいは補償光が不要となり、レーザやカプラなどの光部品の一部を省略できる。本発明では、増幅用光ファイバを複数用い、それに伴うポンプ光源やそれに付随する部品は増加する。しかし、光増幅器を複数用いて大きな利得が得られ、それでいて、個々の光増幅器を制御する必要はない。したがって、複数の光増幅器を用いて個々の利得を制御する場合に比較すれば、構成は簡略である。また、プローブ光や補償光といった制御のための付加的な光を導入する必要がなく、そのための光部品による挿入損失やNFの劣化を防ぐことができる。

【0024】

【発明の実施の形態】図1は本発明の第一の実施形態を示すブロック構成図である。この光増幅装置は、波長多重化された信号光を増幅する光増幅手段として、増幅用光ファイバ11、ポンプ光源12および光波長多重カプラ13により構成される第一の光ファイバ増幅器と、増幅用光ファイバ21、ポンプ光源22および光波長多重カプラ23により構成される第二の光ファイバ増幅器とを備え、これらの全体の利得を制御するため、アレイ導波路型光分波器31、光検出器32およびポンプ光源制御回路33を備える。

【0025】増幅用光ファイバ11、21は3準位系の元素が添加された光ファイバであり、それぞれポンプ光源12、22から光波長多重カプラ13、23を経由して供給されるポンプ光により励起されて光増幅を行う。ポンプ光源12は、増幅用光ファイバ11の利得が、その増幅用光ファイバ11から発生する自然放出光がその後段の増幅用光ファイバ21に入射したときにその後段の増幅用光ファイバ21の利得が飽和状態となるように設定される。ポンプ光源12の出力したポンプ光（波長 λ_{p1} ）は、光波長多重カプラ13により波長多重化信号光（波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ ）と多重され、増幅用光ファイバ11に入射する。増幅用光ファイバ11では、波長多重化信号光が増幅されるとともに、自然放出光が発生する。これが増幅され、波長多重化信号光とともに増幅用光ファイバ21に入射する。増幅用光ファイバ21はこの入射光を増幅するが、その利得は、増幅用光ファイバ11からの自然放出光（ASE光）により飽和状態となっている。アレイ導波路型光分波器31は、増幅用光ファイバ21から出力されるASE光を分波して光検出器32に導く。ポンプ光源制御回路33は、光検出器32の出

力によりポンプ光源22を制御し、その出力するポンプ光強度により増幅用光ファイバ21の飽和出力光強度を制御する。具体的には、光検出器32で検出された強度を一定に保つように、ポンプ光源22への注入電流を調整する。

【0026】ASE光を分波するためにアレイ導波路型光分波器を用いた例を示したが、カプラとフィルタを用いてもよい。二つの増幅用光ファイバへのポンプ光の入射方向は逆方向でなく同じ方向でもよい。また、以上の説明では、ポンプ光が他方の増幅用光ファイバに伝搬することを防止するための構成については省略した。

【0027】図2は本発明の第二の実施形態を示すブロック構成図である。この光増幅装置は、光検出器32が増幅用光ファイバ21から出力されるASE光を監視するのではなく、増幅用光ファイバ21の側面から放出されるSE光を検出するように配置されたことが第一の実施形態と異なる。

【0028】この実施形態でも、増幅用光ファイバ11、21が縦続接続され、前段の増幅用光ファイバ11を励起するためのポンプ光源12の出力は、後段の増幅用光ファイバ21が前段から放出されるASE光により飽和領域に設定されるように調整される。飽和領域に設定された後段の増幅用光ファイバ21を励起するためのポンプ光源22は、後段の増幅用光ファイバ21から放出されるSE光強度が一定となるように制御される。

【0029】この実施形態でも、二つの増幅用光ファイバへのポンプ光の入射方向を逆方向でなく同じ方向にすることもできる。ポンプ光が他方の増幅用光ファイバに伝搬することを防止するための構成については省略した。

【0030】次にこれらの実施例の動作について説明する。

【0031】図3は、単体の増幅用光ファイバについて、ポンプ光パワーを変化させた場合の入出力光特性を示す。ポンプ光パワーを変化させることで飽和出力が変化するが、特に3準位系増幅用光ファイバでは、飽和強度がポンプ光強度に比例する。これを利用して、2段目の増幅用光ファイバの飽和出力光強度の制御を、ポンプ光強度と飽和出力光強度が比例する関係にある領域を用いて行うようにする。ここで、3準位系光ファイバの飽和強度とポンプ光源の比例関係を説明する。

【0032】希土類添加光ファイバ増幅器の利得Gは、 $G = \exp(\int \gamma(z) dz)$ で表される。 $\gamma(z)$ は局所利得係数、Lは希土類添加ファイバの長さである。 $\gamma(z)$ は、 $\gamma(z) = \gamma_0 / (1 + C_1 I_s + C_2 I_{sat})$ と表すことができる。 γ_0 は未飽和利得係数、 I_s は信号光強度、 C_1 、 C_2 は定数、 I_{sat} は飽和強度であり、

$$I_{sat} = C_3 (C_4 I_p + 1)$$

である。また、 I_p は光増幅器ポンプ光強度、 C_s 、 C_a は定数である。

【0033】飽和強度 I_{sat} の式は、飽和強度が励起パワーの関数になっていることを示す。したがって、光増幅器ポンプ光強度 I_p を変化させることで飽和強度 I_{sat} を変化させ、それにより利得係数 γ を変動させることが可能である。すなわち、飽和強度 I_{sat} は光増幅器ポンプ光強度 I_p に比例しているの、利得飽和の程度に応じて利得係数 γ が一定となるように制御できる。例えば、増幅用光ファイバを2段縦続に接続した場合、前段の増幅用光ファイバの自然放光により後段の増幅用光ファイバの動作点を利得飽和状態におくと、動作領域は図3に示したように飽和領域となる。そこで、ポンプ光パワーで飽和強度を制御し、利得一定値となるポンプ光パワーを選択すると、広い入力光強度範囲での利得一定制御が可能となり、動作範囲も明確となる。特に、波長多重伝送で数波を同時に増幅するときなど、入力パワーが高い場合の利得制御には有効である。

【0034】このようにして、増幅用光ファイバを縦続に接続することで、前段から放出されるASE光を用いて後段を飽和させ、後段を飽和領域で動作させて制御する。前段の増幅用光ファイバから得られる利得と後段から得られる利得とをあわせて、高い利得が得られる利点もある。

【0035】第一の実施形態における制御系では、ASE光と利得との関係から、ASE光強度を一定に保てば利得が一定となることを利用する。この原理について以下に説明する。

【0036】信号光がない場合のASE光強度は、 $P_{ASE} = 2n_{sp}h\nu\Delta\nu(G-1)$ と表される。ここで、 G 、 n_{sp} 、 h 、 ν はそれぞれ、利得、反転分布パラメータ、プランク定数、周波数を表す。この式から、ASE光強度を調整することで、利得を一定に保つことが可能であることがわかる。すなわち、後段の増幅用光ファイバから放出されるASE光強度が一定になるように、後段の増幅用光ファイバの励起光強度を制御することで、利得を一定に制御することができる。

【0037】また、第二の実施形態の制御系では、ASE光ではなくSE光を用いる。SE光強度と利得との関係を以下に説明する。

【0038】希土類添加光ファイバ増幅器の利得 G は、上述したように、 $G = \exp(\int \gamma(z) dz)$ で表される。 $\gamma(z)$ は、ファイバ側面からの自然放出

光強度 $P_{se}(z)$ とその他の定数を用いて、

$$\gamma(z) = CP_{se}(z) - \alpha_s$$

と記述することができる。ここで、 C および α_s はファイバ上の位置励起光強度、信号光強度に依存しない定数である。したがって、利得 G は、

$$G = \exp(\int CP_{se}(z) dz - \alpha_s L)$$

と表される。したがって、側面からの自然放光強度 $P_{se}(z)$ をファイバ長にわたって積分した値を一定値に制御することで、利得 G を一定値に保つことができる。

10 【0039】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の光増幅装置は、多段に構成された増幅用光ファイバのうち後段の増幅用光ファイバの出力飽和領域を利用して利得を制御することで、波長多重された信号光に対して一括増幅が可能で、しかも明確な動作領域で利得を実質的に一定に保つことができる。

【0040】また、縦続した2以上の増幅用光ファイバを用いることから高利得が得られ、後段の増幅用光ファイバのポンプ光源に帰還をかけることにより利得を制御することからNFの向上を図ることができる。

【0041】さらに、ASE光あるいはSE光により監視することで、入出力光強度を監視することなく利得一定制御が可能になることから、光部品を省略でき、入力およびNFの劣化を防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施形態を示すブロック構成図。

【図2】本発明の第二の実施形態を示すブロック構成図。

30 【図3】単体の増幅用光ファイバについてポンプ光パワーを変化させた場合の入出力光特性を示す図。

【図4】従来例の光増幅装置を示すブロック構成図。

【図5】従来例の光増幅装置を示すブロック構成図。

【符号の説明】

11、21、41、61 増幅用光ファイバ

12、22、42、62 ポンプ光源

13、23、43、63 光波長多重カプラ

31 アレイ導波路型光分波器

32、55、73 光検出器

40 33、56 ポンプ光源制御回路

51 プローブ光源

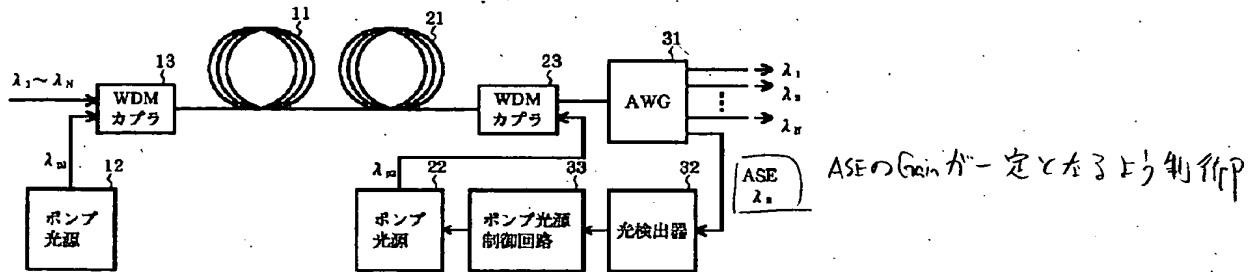
52、53、71、76 光カプラ

54、72 光フィルタ

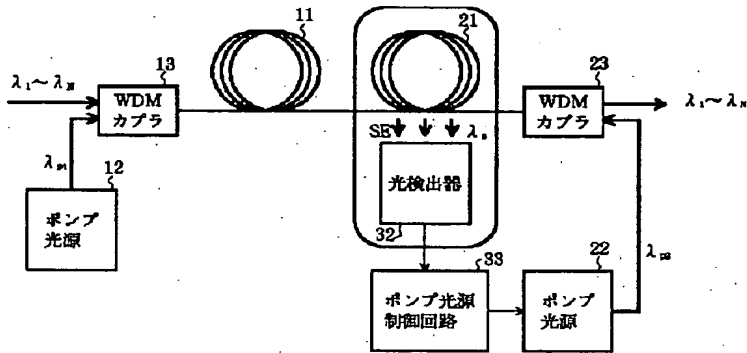
74 補償光源制御回路

75 補償光源

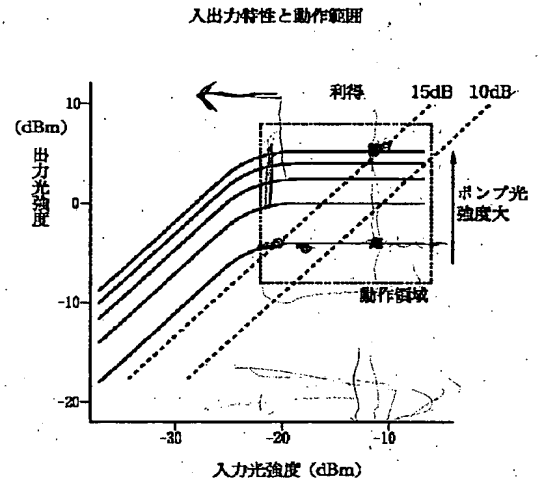
【図1】



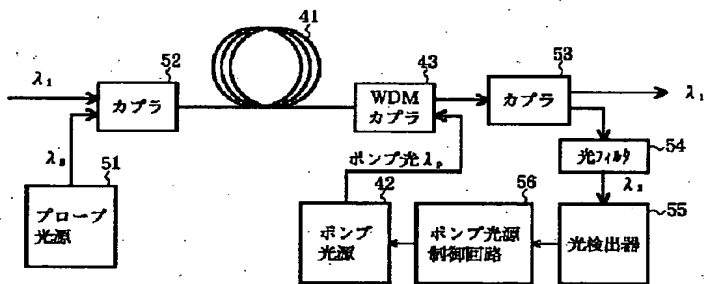
【図2】



【図3】



【図4】



【図5】

